Борецький Олександр Францович, асистент кафедри комп&rsquo;ютерної інженерії факультету радіофізики, електроніки та комп&rsquo;ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Назва дисертації: &laquo;Методи інтеграції технологій віртуалізації в грід&raquo;. Шифр та назва спеціальності 01.05.03 математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. Спецрада Д26.001.09 Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Київський нацiональний унiверситет iменi Тараса Шевченка

Мiнiстерство освiти i науки України

Київський нацiональний унiверситет iменi Тараса Шевченка

Мiнiстерство освiти i науки України

Квалiфiкацiйна наукова

праця на правах рукопису

БОРЕЦЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ФРАНЦОВИЧ

УДК 004.75, 004.415.2

ДИСЕРТАЦIЯ

МЕТОДИ IНТЕГРАЦIЇ ТЕХНОЛОГIЙ ВIРТУАЛIЗАЦIЇ В ГРIД

01.05.03 — математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин

i систем

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технiчних наук

Дисертацiя мiстить результати власних дослiджень. Використання iдей, результатiв i текстiв iнших авторiв мають посилання на вiдповiдне джерело

Борецький О.Ф.

Науковий керiвник Бойко Юрiй Володимирович

кандидат фiз.-мат. наук, доцент

Київ – 2020

ЗМIСТ

ПЕРЕЛIК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 15

ВСТУП 17

1. Аналiз методiв та засобiв застосування прикладного ПЗ в обчислювальнiй грiд-iнфраструктурi 28

1.1. Програмно-апаратна архiтектура грiд-середовища запуску прикладних завдань . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 28

1.1.1. Особливостi архiтектури обчислювального кластера – постачальника

ресурсiв в грiд-iнфраструктурi . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 35

1.1.2. Особливостi застосування обчислювального кластера – обчислювального елемента грiд . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 43

1.2. Методи та засоби використання прикладного ПЗ в грiд-завданнi . . . . . . . 47

1.3. Особливостi використання прикладного ПЗ в українськiй грiд-iнфраструктурi 54

1.4. Формування середовища виконання прикладного ПЗ у грiд . . . . . . . . . . 58

1.4.1. Запуск прикладного ПЗ грiд-завдання в iзольованому середовищi вiртуальної машини . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 58

1.4.2. Використання у грiд-завданнi вiддаленої вiртуальної файлової системи з прикладним ПЗ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 59

1.4.3. Компiляцiя прикладного ПЗ на початковому етапi виконання грiдзавдання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 60

1.5. Висновки до першого роздiлу . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 61

2. Iнтеграцiя технологiй вiртуалiзацiї в обчислювальнi елементи грiд-iнфраструктури 64

2.1. Вимоги до технологiй вiртуалiзацiї для запуску вiртуальних машин як грiдзавдань . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 66

2.2. Методи та технологiї формування вiртуального середовища виконання OS . 68

2.2.1. Вiртуалiзацiя на рiвнi OS . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 68

2.2.2. Формування вiртуального середовища програмною емуляцiєю обладнання комп’ютера . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 70

2.2.3. Застосування паравiртуалiзованих пристроїв для формування вiртуального середовища виконання OS . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 71

2.2.4. Засоби апаратної пiдтримки вiртуалiзацiї . . . . . . . . . . . . . . . . 73

2.3. Грiд-iнфраструктура як апаратна платформа запуску та виконання вiртуальних машин . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 75

2.4. Обчислювальний елемент грiд-iнфраструктури як iнтерфейс доступу до апаратних ресурсiв . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 77

2.5. Метод запуску вiртуальної машини як грiд-завдання . . . . . . . . . . . . . . 78

2.5.1. Керування вiртуальними машинами на робочих вузлах обчислювальних кластерiв . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 84

13

2.5.2. Робота з даними у вiртуальнiй машинi запущенiй як грiд-завдання . 85

2.6. Iнтерактивна взаємодiя з прикладним ПЗ у грiд . . . . . . . . . . . . . . . . 87

2.6.1. Методи та засоби доступу до консолi вiртуальних машин . . . . . . . 88

2.6.2. Методи та засоби вiддаленого доступу до OS запущеної у вiртуальнiй

машинi . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 89

2.6.3. Метод iнтерактивної взаємодiї з прикладним ПЗ у грiд . . . . . . . . 91

2.7. Висновки до другого роздiлу . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 93

3. Iнтеграцiя апаратно прискореної та контейнерної вiртуалiзацiї в CE грiдiнфраструктури 96

3.1. Аналiз програмних засобiв вiртуалiзацiї . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 97

3.1.1. Засоби вiртуалiзацiї, що використовують апаратну пiдтримку та паравiртуалiзацiю . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 98

3.1.2. Засоби вiртуалiзацiї на рiвнi операцiйної системи . . . . . . . . . . . . 100

3.2. Програмний комплекс Rainbow . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 103

3.3. Метод запуску прикладного ПЗ у вiртуальнiй машинi запущенiй як грiдзавдання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 106

3.4. Запуск вiртуальних машин як грiд-завдання засобами QEMU/KVM . . . . . 109

3.4.1. Середовище виконання прикладного ПЗ у вiртуальних машинах

QEMU/KVM . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 111

3.4.2. Вiддалений доступ до вiртуальних машин QEMU/KVM . . . . . . . . 113

3.4.3. Швидкодiя прикладного ПЗ у вiртуальнiй машинi QEMU/KVM запущенiй як грiд-завдання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 114

3.5. Запуск контейнерних вiртуальних машини як грiд-завдання засобами Docker 118

3.5.1. Середовище виконання прикладного ПЗ у контейнерних вiртуальних

машинах . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 119

3.5.2. Вiддалений доступ до контейнерних вiртуальних машин . . . . . . . . 119

3.5.3. Швидкодiя прикладного ПЗ у контейнернiй вiртуальнiй машинi запущенiй як грiд-завдання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 121

3.6. Впровадження програмних засобiв запуску вiртуальних машин як грiдзавдань . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 123

3.7. Висновки до третього роздiлу . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 126

4. Автоматизацiя запуску вiртуальних машин як грiд-завдань 129

4.1. Особливостi програмних комплексiв проведення наукових дослiджень в грiд 130

4.2. Грiд-сервiс автоматизацiї запуску вiртуальних машин як грiд-завдань . . . . 132

4.2.1. Взаємодiя грiд-сервiсу автоматизацiї запуску вiртуальних машин як

грiд-завдань з грiд-iнфраструктурою . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 134

4.2.2. Управлiння запуском вiртуальних машини запущених як грiд завдання137

4.2.3. Iнтеграцiї системи запуску вiртуальних машин з веб-порталами вiртуальних лабораторiй . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 138

4.3. Моделювання грiд-сервiсу автоматизацiї запуску вiртуальних машин в грiд

засобами транзицiйних систем та мереж Петрi . . . . . . . . . . . . . . . . . 144

14

4.3.1. Проєктування грiд iнфраструктури як середовища автоматизованого

запуску вiртуальної машини . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 144

4.3.2. Протокол реєстрацiї грiд-сервiсу . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 146

4.3.3. Протокол пiдготовки завдання грiд з вiртуальною машиною . . . . . 147

4.3.4. Мережева модель протоколу реєстрацiї та пiдготовки завдань . . . . 149

4.3.5. Мережева модель CE, на яких виконується запуск вiртуальних машин як грiд-завдань . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 150

4.3.6. Обґрунтування мережевої моделi CE iз запущеною вiртуальною машиною як грiд-завдання . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 153

4.3.7. Властивостi обмеженостi i справедливостi мережевої моделi CE грiдiнфраструктури . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 157

4.4. Впровадження грiд-сервiсу автоматизацiї запуску вiртуальних машин як

грiд-завдань . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 159

4.5. Висновки до четвертого роздiлу . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 160

ВИСНОВКИ 163

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 166

ДОДАТКИ

А. Акти впровадження 186

Б. Список опублiкованих праць за темою дисертацiї 193

В. Вiдомостi про апробацiю результатiв дисертацiї 196

ВИСНОВКИ

Удисертацйномудослдженнвиршенонауковопрактичнузадачурозробкиметодвнтеграцїтехнологйвртуалзацїдляформуваннясередовищавиконанняприкладногопрограмногозабезпеченняугрдзавданн

РозробленметодимаютьсуттєвезначенняпривикористаннугрднфраструктурахрзномантногоприкладногопрограмногозабезпеченняЦе

маєвисокунауковопрактичнуцннстьдлягетерогеннихпаралельнихта

розподленихобчислювальнихсистем

Цевключаєвсебенауковопрактичнрезультатидисертацйногодослдження

Вперше

Розробленоновийметодзапускувртуальнихмашинякгрдзавдань

якийдозволяєвикористатитехнологїконтейнерноївртуалзацїтатехнологїзапаратноюпдтримкоювртуалзацї

Розробленоновийметодвзаємодїзприкладнимприкладногопрограмногозабезпеченнявиконуванимугрдщодозволяєвикористовуватинтерактивнийрежимроботизарахунокграфчноготантерфейсукомандногорядкудлярзнихоперацйнихсистем

Розробленоновийметодвиконанняувртуальнихмашинахзапущених

якгрдприкладногопрограмногозабезпеченняМетоддозволяєсконфгуруватисередовищероботиприкладногопрограмногозабезпеченняу



пакетномутантерактивномурежимвзаємодїдлярзнихоперацйних

систем

РозробленопрограмнийкомплексдляреалзацїметодвзапускувртуальнихмашинякгрдзавданьЦедозволяєзабезпечитинтерактивну

взаємодюзприкладнимпрограмнимзабезпеченнямвикористатирзн

технологївртуалзацїзокремазапаратноюпдтримкоютаконтейнерну

Розробленоархтектуругрдсервсуякадозволяєавтоматизуватизапусктауправлннявртуальнимимашинамизапущенимиякгрдзавдання

взаємодятизгрдсервсамикооперацїРозробленийгрдсервсмститьпрограмнзасобинтеграцїдопрограмнихкомплексввртуальних

органзацй

Удосконалено

Розробленметодикитаархтектурнпринципиформуваннясередовища

виконаннязольованогонезалежноговдробочоговузлаобчислювальногокластерагрднфраструктуриЦедозволяєкеруватисередовищем

виконанняприкладногопрограмногозабезпеченняугрдзавданн

Набулоподальшогорозвитку

Проведеноматематичнемоделюваннязасобамитранизицйнихсистем

таМережПетргрдсервсуавтоматизацїзапускувртуальнихмашин

Пдтвердженощотакамережаєживоюунйвиконуєтьсявластивсть



справедливостатакийматематичнийапаратможебутизастосовано

длямоделюваннягрдсервсв